豌豆蛋白粉对1～4周龄高邮鸭生长性能、养分表观消化率、消化器官发育及血清生化指标的影响[1]

周根来[1,2]　杨晓志[1]　殷洁鑫[1]　周明夏[1]　左伟勇[1,2]

（1.江苏农牧科技职业学院，泰州 225300；2.江苏省现代畜牧与新兽药工程技术中心，江苏省兽用生物制药高技术研究重点实验室，泰州 225300）

摘　要：本试验旨在研究豌豆蛋白粉对1～4周龄高邮鸭生长性能、养分表观消化率、消化器官发育及血清生化指标的影响。试验选用160只1日龄高邮鸭，随机分为4个组，每组4个重复，每个重复10只鸭。对照组(C0组)饲喂玉米-豆粕型基础饲粮，试验组(C1、C2、C3组)分别饲喂以3%、6%、9%的豌豆蛋白粉替代基础饲粮中豆粕的试验饲粮。试验期28 d。结果表明:1)C1、C2、C3组的平均日增重和平均日采食量均显著低于对照组（P<0.05）；C1组的料重比显著高于对照组（P<0.05），C2、C3组的料重比与对照组差异不显著（P>0.05）。2)C1、C2、C3组的粗蛋白质（CP）和总磷（TP）表观消化率与对照组差异不显著（P>0.05），C2组的粗纤维（CF）、粗脂肪（EE）和钙（Ca）表观消化率与对照组差异不显著（P>0.05），C1、C3组的CF、EE和Ca表观消化率均显著低于对照组（P<0.05）。3)豌豆蛋白粉对腺胃、胰腺和十二指肠的相对重量没有显著影响（P>0.05）。C1组的肌胃相对重量显著高于对照组（P<0.05），C2组的空肠和回肠相对重量均显著高于对照组（P<0.05），C2组的十二指肠密度、空肠密度和回肠相对长度均显著高于对照组（P<0.05）。4)豌豆蛋白粉对血清白蛋白(ALB)、葡萄糖(GLU)、低密度脂蛋白胆固醇(LDLC)含量没有显著影响（P>0.05），C3组的血清总蛋白(TP)含量显著高于对照组（P<0.05），C2、C3组的血清尿素氮(UN)含量均显著高于对照组（P<0.05），C1、C2、C3组的血清甘油三酯(TG)含量均显著高于对照组（P<0.05），C1、C3组的血清总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDLC)含量显著低于对照组（P<0.05）。综上，饲粮中使用豌豆蛋白粉替代豆粕会降低1～4周龄高邮鸭的平均日增重和平均日采食量，但6%豌豆蛋白粉替代豆粕对养分表观消化率没有显著影响，料重比低于对照组，而且有助于小肠器官发育指数提高，影响体内蛋白质和脂肪代谢的变化。建议6%豌豆蛋白粉作为高邮鸭饲粮的推荐使用量。

收稿日期：2017-04-16

基金项目：江苏省现代畜牧与新兽药工程技术中心开放课题（GCZXKF1401）

作者简介：周根来（1979-），男，江苏姜堰人，副教授，硕士，主要从事饲料资源开发与应用研究。E-mail: 178149071@qq.com

关键词：豌豆蛋白粉；高邮鸭；生长性能；养分表观消化率；消化器官；血清生化指标

中图分类号：S834　　　　　　文献标识码：　　　文章编号：

蛋白质饲料资源短缺已成为制约我国现代畜牧业持续健康发展的关键因素之一[1]。豆粕是畜禽饲粮中使用最多的植物性蛋白质饲料，但其价格波动频繁，供需缺口较大，且存在抗原因子和转基因安全隐患[2]，影响到蛋白质饲料的安全稳定供给。因此，加快豌豆蛋白粉等非常规蛋白质饲料资源的利用，不断加强豆粕替代品的营养价值评定和安全性评价，具有重要的实践价值。杂饼粕、加工副产品、下脚料等蛋白质资源逐渐被开发利用为豆粕的替代品。作为我国重要的食用豆类之一，豌豆提取得到的淀粉、纤维和蛋白质不仅可以作为食品工业原料，也可以用在纺织、医药、化工等领域[3-4]。豌豆蛋白粉是豌豆加工粉丝后的副产品之一，具有营养价值较高、价格较低、资源较丰富等优势，可以作为非常规蛋白质饲料部分替代鱼粉、豆粕等原料，其开发利用已逐渐得到重视[5]。综述近年来的各类研究，可发现大多研究都局限于加拿大黄豌豆整粒和豌豆淀粉的研究[6-7]，有关国产豌豆蛋白粉的研究较少。为进一步扩大豌豆蛋白粉的使用范围，开展其在畜禽饲粮中的饲喂应用研究显得十分必要。如何合理利用豌豆蛋白粉需要广泛深入的系统研究，目前仅见少量有关在猪、鸡饲粮中的研究，还没有在鸭饲粮中的研究报道。因此，本试验在1～4周龄高邮鸭饲粮中使用豌豆蛋白粉替代部分豆粕，研究其对鸭生长性能、养分表观利用率、消化器官发育及血清生化指标的影响，为豌豆蛋白粉有效应用于鸭乃至禽类饲养实践中提供技术基础。

1　材料与方法

1.1　试验时间和地点

本研究饲养试验于2015年6—7月在江苏丰达水禽扩繁中心高邮鸭养殖场进行，实验室分析于2015年9月至2016年2月在江苏农牧科技职业学院饲料分析检测中心进行。

1.2　试验材料

试验中使用的豌豆蛋白粉采集自山东烟台，其中粗蛋白质（CP）、粗脂肪（EE）、粗纤维（CF）、钙（Ca）和总磷（TP）的含量分别为56.08%、3.15%、4.98%、1.01%和0.63%[8]。

1.3　试验设计与饲养管理

试验选取160只1日龄体质健壮、体重接近的高邮鸭，随机分为4个组，每组4个重复，每个重复10只鸭，公母各占1/2。对照组(C0组)饲喂参照NRC(1994)饲养标准配制的玉米-豆粕

型基础饲粮；试验组(C1、C2、C3组)分别饲喂用3%、6%、9%的豌豆蛋白粉替代基础饲粮中的豆粕配制而成的试验饲粮，试验饲粮均为粉状，其组成及营养水平见表1。试验期为28 d。试验鸭自由采食、充足饮水，按正常免疫程序进行免疫接种。光照程序：1～7日龄为24 h 100 W强度的光照；以后光照强度逐渐降低，每天减少1 h；21日龄后采用自然光照。育雏温度：1～3日龄为29～31 ℃，4～20日龄平均每天递降0.4 ℃，直至21日龄为正常室温。喂料次数：前3 d每天7次，3 d以后减为每天5次，7 d以后减为每天3次。

表1　试验饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　　%

项目 Items	组别 Groups			
	C0	C1	C2	C3
原料 Ingredients				
玉米 Corn	59.27	60.23	61.16	62.09
麦麸 Wheat bran	3.00	3.00	3.00	3.05
豆油 Soybean oil	1.00	1.00	1.00	1.00
豆粕 Soybean meal	20.93	18.00	15.00	12.00
豌豆蛋白粉 Pea gluten meal		3.00	6.00	9.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	7.21	6.24	5.34	4.42
石粉 Limestone	1.67	1.61	1.58	1.52
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.08	1.11	1.15	1.18
食盐 NaCl	0.40	0.40	0.40	0.40
L-赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys•HCL	0.41	0.37	0.33	0.29
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.03	0.04	0.04	0.05
预混料 Premix[1)]	5.00	5.00	5.00	5.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]				
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.72	11.69	11.55	11.64
粗蛋白质 CP	18.02	17.95	17.62	17.76

粗纤维 CF	4.53	4.39	4.51	4.62
钙 Ca	0.91	0.91	0.93	0.95
有效磷 AP	0.43	0.44	0.43	0.44
赖氨酸 Lys	1.10	1.10	1.10	1.10
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.69	0.69	0.69	0.69

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets: VA 15 000 IU，VD_3 3 200 IU，VE 12.5 IU，VK_3 1.5 mg，VB_1 4 mg，VB_2 5 mg，VB_6 2 mg，VB_{12} 0.01 mg，生物素 biotin 0.2 mg，叶酸 folic acid 0.5 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 15 mg，烟酸 nicotinic acid 65 mg，抗氧化剂 antioxidant 100 mg，Fe (as ferrous sulfate) 86 mg，Cu (as copper sulfate) 8 mg，Zn (as zinc sulfate) 90 mg，Mn (as manganese sulfate) 80 mg，I (as potassium iodide) 0.42 mg，Se (as sodium selenite) 0.3 mg。

[2)]代谢能、氨基酸为计算值，其余为实测值。ME and AA were calculated values, while the others were measured values.

1.4 样品采集与处理

饲粮样品：采用四分法收集各组饲粮样品各250 g，置于4 ℃冰箱内保存待测。

排泄物样品：在试验鸭26～28日龄，连续3 d每天2次(09: 00和14: 00)在各鸭栏内定点收集新鲜成型排泄物100 g，加入10mL 10%硫酸固氮后，置于4 ℃冰箱内保存。最后将每个重复的所有粪样解冻后混匀，置于烘箱65 ℃下烘干至恒重，室温下放置回潮24 h，准确称重后粉碎过40目筛，制得的排泄物风干样品留作备用。

消化器官样品：28日龄时，每重复随机选取2只试验鸭空腹称重，进行屠宰采样。试验鸭放血致死后，迅速剖开腹腔，取出内脏器官，分离出肌胃、腺胃、胰腺、十二指肠(幽门端至胆管出口)、空肠(至卵黄囊残迹)和回肠(至回盲结合处)，用蒸馏水冲洗内容物后再用滤纸吸干。

血清样品：28日龄时，每重复随机选取2只试验鸭，翅静脉采血5 mL，静置30 min，3 000 r/min、4 ℃离心10 min，取上清液装至冻存管中，于－20 ℃冰箱中保存备用。

1.5 测定指标

1.5.1 生长性能

在1和28日龄时分别对各重复试验鸭群体进行空腹称重，用于计算各组试验鸭的平均日

增重（ADG）。试验期间，记录每天每重复试验鸭的饲粮饲喂量，每1周统计每重复的剩料量，计算各组试验鸭的平均日采食量（ADFI）。根据每重复试验鸭的ADG和ADFI计算各组试验鸭的料重比(F/G)。记录试验鸭死亡体重，以校正试验鸭的耗料及其他指标。

1.5.2　养分表观利用率

饲粮和排泄物中 CP 含量采用凯氏定氮法(GB/T 6432-1994)测定，EE 含量采用索氏抽提法(GB/T 6433-2006)测定，CF 含量采用过滤法(GB/T 6434-2006)测定，Ca 含量采用高锰酸钾滴定法(GB/T 6436-2002)测定，TP 含量采用分光光度计法(GB/T 6437-2002)测定，盐酸不溶灰分(AIA)含量采用灼烧处理法（GB/T 23742-2009）测定[9]。各组饲粮中各养分的表观消化率利用 AIA 作为内源指示剂进行测定，计算公式如下：

$$某养分的表观消化率(\%)=100—100\times(a\times d)/(b\times c)。$$

式中：a 表示饲粮中指示剂 AIA 含量（%）；b 表示饲粮中某养分含量（%）；c 表示排泄物中指示剂 AIA 含量（%）；d 表示排泄物中某养分含量（%）。

1.5.3　消化器官发育指数

对采集得到的各消化器官立即进行称重，并测量各段肠道的长度。计算消化器官相对重量以及肠道相对长度和密度，公式如下：

消化器官相对重量(%)=［消化器官鲜重(g)/活体重(g)］×100；

肠道相对长度(%) =［肠道长度(cm)/活体重(g)］×100；

肠道密度(g/cm)=肠道重量(g)/肠道长度(cm)。

1.5.4　血清生化指标

血清中总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、尿素氮(UN)、葡萄糖(GLU)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDLC)、低密度脂蛋白胆固醇(LDLC)含量均利用全自动生化分析仪（奥林巴斯 AU2700）进行测定。

1.6　数据处理与统计

试验数据采用SPSS 16.0软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），显著性检验采用Duncan氏法多重比较，P＜0.05表示差异显著，结果用平均值(mean)、标准误(SEM)表示。

2　结果与分析

2.1　豌豆蛋白粉对高邮鸭生长性能的影响

从表2可以看出，C1、C2、C3组的ADG均显著低于对照组（P＜0.05），其中C3组比对照组降低了23.22%。C1、C2、C3组的ADFI随豌豆蛋白粉替代量的增加呈下降趋势，3组间差异不显著（P＞0.05），但均显著低于对照组（P＜0.05）；C3组ADFI降低最低，比对照组降低了24.57%。C2、C3组的F/G低于对照组，但差异不显著（P＞0.05）；C1组的F/G显著高于对照组（P＜0.05），提高了6.90%。

综上可知，使用豌豆蛋白粉显著降低了高邮鸭的ADG和ADFI，但除3%替代量外对F/G没有显著影响。

表2　豌豆蛋白粉对高邮鸭生长性能的影响

Table 2　Effects of pea gluten meal on growth performance of *Gaoyou* ducks

项目 Items	组别 Groups C0	C1	C2	C3	SEM	P值 P-value
平均日增重 ADG/(g/d)	18.91^{a}	14.69^{bc}	16.61^{b}	14.52^{c}	0.54	0.001
平均日采食量 ADFI/(g/d)	60.37^{a}	50.08^{b}	52.09^{b}	45.54^{b}	1.67	0.002
料重比 F/G	3.19^{b}	3.41^{a}	3.14^{b}	3.14^{b}	0.04	0.029

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2　豌豆蛋白粉对高邮鸭养分表观消化率的影响

从表3可以看出，豌豆蛋白粉对CP和TP表观消化率没有显著影响（P＞0.05），对CF、EE、Ca表观消化率有显著影响（P＜0.05）。其中，C2组的CF、EE、Ca表观消化率与对照组差异不显著（P＞0.05），C1、C3组的CF、EE、Ca表观消化率均显著低于对照组（P＜0.05）。

综上可知，与对照组相比，6%豌豆蛋白粉替代量对高邮鸭养分表观消化率没有显著影响，而3%、9%替代量均显著降低了CF、EE和Ca表观消化率。

表3　豌豆蛋白粉对高邮鸭养分表观消化率的影响

Table 3　Effects of pea gluten meal on nutrient apparent digestibility of *Gaoyou* ducks　　%

项目 Items	组别 Groups C0	C1	C2	C3	SEM	*P*值 *P*-value
粗蛋白质 CP	68.30	60.55	64.12	59.61	6.38	0.206
粗纤维 CF	45.26[a]	35.15[b]	38.35[ab]	31.55[b]	7.32	0.032
粗脂肪 EE	80.45[a]	70.86[bc]	76.30[ab]	66.92[c]	6.65	0.005
钙 Ca	37.68[a]	30.06[b]	34.32[a]	26.99[b]	4.84	0.001
总磷 TP	52.91	50.42	51.76	47.53	3.79	0.218

2.3　豌豆蛋白粉对高邮鸭消化器官发育的影响

从表4可以看出，豌豆蛋白粉对腺胃、胰腺和十二指肠相对重量没有显著影响（$P>0.05$），对肌胃、空肠和回肠相对重量有显著影响（$P<0.05$）。其中，C1组的肌胃相对重量显著高于对照组（$P<0.05$），比对照组提高了37.18%；C2组的空肠和回肠相对重量均显著高于对照组（$P<0.05$），分别比对照组提高了34.52%、55.79%。

综上可知，使用豌豆蛋白粉能一定程度上提高消化器官相对重量，特别是6%替代量对显著提高了空肠和回肠相对重量。

表4　豌豆蛋白粉对高邮鸭消化器官相对重量的影响

Table 4　Effects of pea gluten meal on digestive organs relative weight of *Gaoyou* ducks　　%

项目 Items	组别 Groups C0	C1	C2	C3	SEM	*P*值 *P*-value
腺胃 Proventriculus	0.56	0.60	0.66	0.62	0.02	0.492
肌胃 Gizzard	4.25[b]	5.83[a]	4.85[b]	4.95[b]	0.19	0.012
胰腺 Pancreas	0.48	0.51	0.57	0.65	0.03	0.060
十二指肠 Duodenum	0.69	0.73	0.85	0.80	0.03	0.306
空肠 Jejunum	1.68[b]	1.52[b]	2.26[a]	1.71[b]	0.10	0.016
回肠 Ileum	0.95[b]	1.22[ab]	1.48[a]	1.36[a]	0.07	0.039

从表5可以看出，豌豆蛋白粉对十二指肠相对长度没有显著影响（P>0.05），C2组的十二指肠密度显著高于对照组（P<0.05）。豌豆蛋白粉对空肠相对长度没有显著影响（P>0.05），C2组的空肠密度显著高于对照组（P<0.05）。豌豆蛋白粉对回肠密度没有显著影响（P>0.05），C2组的回肠相对长度显著高于对照组（P<0.05），比对照组提高了41.21%。

综上可知，豌豆蛋白粉对高邮鸭小肠相对长度和肠道密度影响不大，但6%替代量显著提高了鸭空肠密度和回肠相对长度。

表5　豌豆蛋白粉对高邮鸭小肠相对长度和肠道密度的影响

Table 5　Effects of pea gluten meal on relative length and intestinal density of small intestine of *Gaoyou* ducks

项目 Items		组别 Groups C0	C1	C2	C3	SEM	P值 P-value
相对长度 Relative length/%	十二指肠 Duodenum	4.52	4.86	4.52	4.93	0.10	0.287
	空肠 Jejunum	13.16	12.50	12.87	12.82	0.43	0.970
	回肠 Ileum	7.11^{b}	9.73^{a}	10.04^{a}	9.92^{a}	0.42	0.016
肠道密度 Intestinal density/（g/cm）	十二指肠 Duodenum	0.15^{b}	0.15^{b}	0.19^{a}	0.16^{ab}	0.01	0.137
	空肠 Jejunum	0.13^{b}	0.12^{b}	0.18^{a}	0.13^{b}	0.01	0.000
	回肠 Ileum	0.14	0.12	0.15	0.14	0.01	0.699

2.4　豌豆蛋白粉对高邮鸭血清生化指标的影响

从表6可以看出，豌豆蛋白粉对血清TP、UN、TG、TC和HDLC含量有显著影响（P<0.05），而对血清ALB、GLU、LDLC含量没有显著影响（P>0.05）。其中，C3组的血清TP含量比对照组提高了17.10%，差异显著（P<0.05）；C2、C3组的血清UN含量均显著高于对照组（P<0.05）；C1、C2、C3组的血清TG含量均显著高于对照组（P<0.05）；C1、C2、C3组的血清TC、HDLC含量均低于对照组，C2组与对照组差异不显著（P>0.05），C1、C3组显著低于对照组（P<0.05）。

综上可知，使用豌豆蛋白粉提高了血清TP、UN、TG含量，而3%、9%替代量降低了血清TC、HDLC含量。

表6　豌豆蛋白粉对高邮鸭血清生化指标的影响

Table 6　Effects of pea gluten meal on serum biochemical indexes of *Gaoyou* ducks

项目 Items	组别 Groups C0	C1	C2	C3	SEM	P值 P-value
总蛋白 TP/(g/L)	35.33^{b}	35.67^{b}	37.23^{b}	41.37^{a}	0.70	0.002
白蛋白 ALB/(g/L)	17.03	16.85	17.66	18.53	0.31	0.202
尿素氮 UN/(g/L)	1.32^{b}	2.37^{ab}	2.93^{a}	3.13^{a}	0.24	0.028
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	11.63	11.92	11.70	11.81	0.17	0.948
甘油三酯 TG/(mmol/L)	1.06^{c}	1.97^{b}	2.10^{b}	3.01^{a}	0.19	0.001
总胆固醇 TC/(mmol/L)	6.61^{a}	4.82^{c}	6.07^{ab}	5.36^{bc}	0.21	0.007
高密度脂蛋白胆固醇 HDLC/(mmol/L)	3.33^{a}	2.23^{c}	3.00^{ab}	2.33^{bc}	0.14	0.007
低密度脂蛋白胆固醇 LDLC/(mmol/L)	2.49	2.01	2.24	2.11	0.09	0.242

3　讨　论

3.1　豌豆蛋白粉对高邮鸭生长性能及养分表观消化率的影响

豌豆蛋白粉是一种非常规的植物性蛋白质饲料，其营养价值接近于豆粕。但与其他豆类饲料相比，豌豆蛋白粉含有凝集素、抗原蛋白等抗营养物质，同时含有多酚类物质，具有一定的苦涩味，影响其适口性[10-11]。本试验结果表明，豌豆蛋白粉替代豆粕降低了鸭的ADG和ADFI，这是由于豌豆蛋白粉适口性和抗营养物质的影响，特别是其替代量达9%时下降最明显。李金喜[12]在肉鸡生产中的应用研究表明，豌豆蛋白粉的使用降低了试验鸡的增重和采食量，但对F/G没有显著影响，这也与本试验研究基本一致。陈一淑等[13]用3%～12%菜籽粕在雏鸭饲粮中的应用研究结论也与本研究结果完全一致。而章世元等[14]和吴东等[15]的研究分别认为菜籽粕的使用对肉鸭和肉鸡的增重等生长性能没有显著影响。这可能是由于其添加剂量较低、使用双低菜籽品种、发酵等去毒技术所导致的不一致。本试验结果表明，各试验鸭的F/G除了3%替代量组显著高于对照组，其余试验组与对照组差异不显著，结合ADG和ADFI 2个指标，表明在3种豌豆蛋白粉替代量中，6%替代量时鸭的养分利用效率最高。豌

豆蛋白粉的使用显著降低了ADG和ADFI 2个反映畜禽生长性能的首要指标，但考虑到其价格较低、豌豆为非过敏源和非转基因食品，加之研究表明6%替代量F/G低于对照组，豌豆蛋白粉仍可作为豆粕的替代品使用以降低养殖成本、保障畜产品安全。

常规养分表观消化率的测定结果显示，试验鸭对CP和P的表观消化率相对于对照组没有显著差异，而CF、EE和Ca的表观消化率随着豌豆蛋白粉替代量的增加表现为先提高后降低的趋势，6%替代量组这3个养分表观消化率均与对照组无显著差异，9%替代量组均显著低于对照组。本研究表明，3种替代量中用6%豌豆蛋白粉替代豆粕时，试验鸭对常规养分的表观消化率最高，这与6%替代量组F/G最低的结果是一致的，这也许是6%替代量组ADG和ADFI都显著低于豆粕组而F/G却低于豆粕组的原因。本研究前期对单一原料养分消化率的研究表明，鸭对豆粕的CP表观消化率(85.77%)显著高于豌豆蛋白粉的CP表观消化率（77.24%），EE和Ca的表观消化率也高于豌豆蛋白粉[8]。而豌豆蛋白粉替代部分豆粕进行饲粮配合后，可发挥不同饲料之间的互补作用，提高饲粮的养分消化率。综上分析，用6%豌豆蛋白粉代替豆粕后鸭对饲粮中主要养分表观消化率没有显著影响。

3.2　豌豆蛋白粉对高邮鸭消化器官发育的影响

豌豆蛋白粉影响了试验鸭的生长速度和养分表观消化率，可能是因为各组试验鸭消化器官的发育程度不相同。本研究的结果表明，6%替代量组的小肠后段相对重量、空肠密度和回肠相对长度都显著高于对照组，而9%替代量组与对照组无显著差异。豌豆蛋白粉对试验鸭消化器官的影响随着替代量的提高整体上表现为先增加后降低的趋势，这与豌豆蛋白粉对试验鸭生长性能和养分表观消化率的影响是一致的。综上，使用6%豌豆蛋白粉有助于各消化器官的发育，替代量过高则无益于鸭消化器官的发育。

梁恒之等[16]研究发现，北京鸭高F/G组回肠相对重量显著低于中、低F/G组（$P<0.05$），认为不同饲料转化效率与消化器官发育有一定相关性，这与本试验F/G最低的6%替代量组各消化器官发育指数较高的结果是一致的。有关豌豆蛋白粉在鸭消化器官方面的研究鲜见报道，但许多杂粕在禽饲粮中的应用得到了与此类似的研究结果。邱良伟等[17]的研究结果显示，发酵棉籽粕能够提高肉仔鸡小肠绒毛高度，降低隐窝深度，有效优化肠道结构。王宝维等[18]的研究认为，发酵葡萄籽粕能够优化5～12周龄五龙鹅肠道结构，当发酵葡萄籽粕添加水平为6%～8%时肠道组织发育最快。

3.3　豌豆蛋白粉对高邮鸭血清生化指标的影响

血清生化指标的变化反映了鸭机体蛋白质、脂肪等物质代谢的状况[19]。血清TP、ALB含量在一定程度上反映了动物体健康状况和蛋白质代谢情况[20]。本试验结果显示，随着试验鸭豌豆蛋白粉替代量的增加，血清TP含量有提高趋势，9%替代量组显著高于对照组，表明豌豆蛋白粉促进了机体蛋白质的代谢。胡永娜[21]的研究同样发现，发酵菜籽粕替代豆粕组肉仔鸡血清的TP和ALB含量均高于其他试验组，表明发酵菜籽粕在一定程度上加强了体内蛋白质的代谢。血清UN虽然不是鸭含氮物质分解代谢的主要产物，但其含量也可反映机体蛋白质的代谢情况。本试验结果表明，不同替代量豌豆蛋白粉组均显著提高了血清UN含量。管武太等[22]研究认为，血清UN含量能反映动物体内蛋白质的代谢平衡状况，且与动物ADG呈负相关。这也验证了本试验中豌豆蛋白粉使用后ADG降低、血清UN含量提高的结果。

本试验结果表明，血清GLU含量变化不显著，表明使用豌豆蛋白粉对鸭糖代谢的影响不大，这与王惠影等[23]在浙东白鹅饲粮中以4%、7%、10%的菜籽粕替代豆粕得到的研究结果相吻合。血清TG和TC含量是衡量体内脂类代谢状况的常见参数[24]。本试验结果表明，使用豌豆蛋白粉会提高血清TG含量，降低血清TC含量，特别是降低血清HDLC含量。这可能是因为使用豌豆蛋白粉的试验鸭机体代谢旺盛，脂肪代谢产物多以TG的形式出现在血清中，而减少TC的含量[25]。进一步分析可得出，豌豆蛋白粉使得鸭血清脂蛋白多以乳糜微粒的形式存在，LDLC含量基本不变化，而减少HDLC的存在。

4　结　论

①饲粮中使用豌豆蛋白粉替代豆粕可降低1～4周龄高邮鸭的ADG和ADFI，但6%豌豆蛋白粉替代豆粕对养分表观消化率没有显著影响，F/G降低。

②饲粮中使用6%的豌豆蛋白粉有助于高邮鸭的消化器官发育，其小肠后段相对重量、空肠密度和回肠相对长度都显著高于对照组。

③饲粮中使用6%、9%组豌豆蛋白粉会引起1～4周龄高邮鸭血清中蛋白质、脂肪代谢指标的显著变化。

④建议高邮鸭饲粮中豌豆蛋白粉适宜替代量为6%。

参考文献：

[1]　李德发.中国饲料大全[M].北京:中国农业出版社,1999.

[2] 杨玉娟,姚怡莎,秦玉昌,等.豆粕与发酵豆粕中主要抗营养因子调查分析[J].中国农业科学,2016,49(3):573–580.

[3] 师伟伟,华欲飞.豌豆粉丝厂废水中蛋白质的提取和性质研究[J].食品工业科技,2014,35(1):120–124.

[4] 梁晗妮,唐传核.豌豆蛋白的功能特性研究[J].现代食品科技,2012,28(12):1640–1644.

[5] 亓美玉,孙芳,姚玉昌,等.豌豆在畜禽饲料中的应用[J].中国饲料,2014(1):41–44.

[6] 王凤来,龚利敏,李德发,等.加拿大豌豆替代豆粕饲养生长肥育猪的研究[J].中国畜牧杂志,2004,40(2) :45–47.

[7] 吕明斌,乔玉锋,NEWKIRK R.豌豆在肉鸡日粮中的应用效果研究[J].中国畜牧杂志,2007,43(7):59–61.

[8] 周根来,杨晓志,殷洁鑫,等.豆粕和豌豆蛋白粉的常规养分含量及鸭消化率的比较分析[J].家畜生态学报,2016,37(8):20–23.

[9] 陈桂银,任善茂.饲料分析与检测[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2013.

[10] 霍贵成,杨丽杰.豆科植物中的抗营养因子[J].饲料博览,1996,8(5):11–13.

[11] GATEL F.Protein quality of legume seeds for non-ruminant animals:a literature review[J].Animal Feed Science and Technology,1994,45(3/4):317–348.

[12] 李金喜.粉浆蛋白粉饲喂肉食鸡效果试验[J].山东家禽,1999(4):11–12.

[13] 陈一淑,杨琳.菜籽粕在雏鸭日粮中添加量的研究[J].广东农业科学,2010,37(5):133–134.

[14] 章世元,俞路,王雅倩,等.菜籽粕替代豆粕对肉鸭生产性能、胴体品质及血液指标的影响[J].饲料工业,2008,29(9):26–29.

[15] 吴东,徐鑫,杨家军,等.发酵菜籽粕替代豆粕对肉鸡生长性能、肉品质及血清生化指标的影响[J].中国畜牧兽医,2015,42(10):2676–2680.

[16] 梁恒之,王波,尹达菲,等.不同饲料转化率的北京鸭和枫叶鸭消化器官发育及盲肠微生物菌群的比较研究[J].中国畜牧杂志,2013,49(19):42–46.

[17] 邱良伟.发酵对棉粕营养特性及其在肉鸡中的应用研究[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2012.

[18] 王宝维,隋丽,岳斌,等.发酵葡萄籽粕对 5～12 周龄五龙鹅消化生理、免疫器官指数和抗

氧化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(1):163–171.

[19] 施寿荣,王志跃,杨海明,等.日粮能量和蛋白质水平对 5~10 周龄仔鹅生产性能的影响[J].饲料工业,2006,27(23):39–42.

[20] STAHLY T S,WILLIAMS N H,ZIMMERMAN D R,et al.Impact of cartbadox on rate,efficiency and composition of growth in pigs with low and high level of immune system activation[J].Journal of Animal Science,1994,72(1):165.

[21] 胡永娜.微生物发酵菜籽粕营养价值的评定及其对肉仔鸡生长发育的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2012.

[22] 管武太,李德发,车向荣,等.血浆蛋白粉改善断奶仔猪生产性能的机理[J].北京农业大学学报,1994,20(4):451–456.

[23] 王惠影,姜涛,刘毅,等.菜籽粕对 7～9 周龄浙东白鹅生长性能、养分利用率及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(2):400–407.

[24] HOLEČEK M.Relation between glutamine,branced chain amino acids,and protein metabolism[J].Nutrition,2002,18(2):130–133.

[25] DY N M,GOSTOUT C J,BALM R K.Bleeding from the endoscopically-identified dieulafoy lesion of the proximal small intestine and colon[J].The America Journal of Gastroenterology,1995,90(1):108–111.

Effects of Pea Gluten Meal on Growth Performance, Nutrient Apparent Digestibility, Digestive Organs Development and Serum Biochemical Indexes of *Gaoyou* Ducks Aged from 1 to 4 Weeks

ZHOU Genlai[1, 2] YANG Xiaozhi[1] YIN Jiexin[1] ZHOU Mingxia[1] ZUO Weiyong[1,2]

(1. *Jiangsu Agri-Animal Husbandry Vocational College*, *Taizhou* 225300, *China*; 2. *Jiangsu Provincial Engineering Technology Center of Modern Animal Science and New Veterinary Drugs*, *Jiangsu Provincial Key Laboratory of Veterinary Bio-pharmaceutical High-Tech Research*, *Taizhou* 225300, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of pea gluten meal on growth performance, nutrient apparent digestibility, digestive organs development and serum biochemical

indexes of *Gaoyou* ducks aged from 1 to 4 weeks. A total of 160 one-day-old *Gaoyou* ducks were randomly divided into 4 groups with 4 replicates per group and 10 ducks per replicate. Ducks in the control group (group C0) were fed a corn-soybean meal basal diet, and the others in the experimental groups (groups C1, C2 and C3) were fed experimental diets which used 3%, 6% and 9% pea gluten meal replaced soybean meal in the basal diet. The experiment lasted for 28 days. The results showed as follows: 1) the average daily gain and average daily feed intake in groups C1, C2 and C3 were significantly lower than those in control group ($P<0.05$); the ratio of feed to gain in group C1 was significantly higher than that in control group ($P<0.05$), but the ratio of feed to gain in groups C2 and C3 was no significant differences compared with the control group ($P>0.05$). 2） The apparent digestibilities of crude protein (CP) and total phosphorus （TP） in groups C1, C2 and C3 were no significant differences compared with control group （$P>0.05$）, the apparent digestibilities of crude fiber (CF), ether extract (EE) and calcium (Ca) in group C2 were also no significant differences compared with control group ($P>0.05$), but the apparent digestibilities of CF, EE and Ca in groups C1 and C3 were significantly lower than those in control group ($P<0.05$). 3) Pea gluten meal had no significant effects on the relative weight of proventriculus, pancreas and duodenum ($P>0.05$). The relative weight of gizzard in group C1 was significantly higher than that in control group ($P<0.05$), the relative weight of jejunum and ileum in group C2 were significantly higher than those in control group ($P<0.05$). The density of duodenum and jejunum, relative length of ileum in group C2 were significantly higher than those in control group ($P<0.05$). 4) Pea gluten meal had no significant effects on the contents of albumin (ALB), glucose (GLU) and low density lipoprotein cholesterol (LDLC) in serum ($P>0.05$). The serum total protein (TP) content in group C3 was significantly higher than that in control group ($P<0.05$), the serum urea nitrogen (UN) content in groups C1 and C3 was significantly higher than that in control group ($P<0.05$), the serum triglyceride (TG) content in groups C1, C2 and C3 was significantly higher than that in control group ($P<0.05$). The contents of total cholesterol (TC) and high density lipoprotein cholesterol (HDLC) in serum in groups C1 and C3 were significantly lower than those in control group ($P<0.05$). In conclusion, pea gluten

meal replaced soybean meal in the diet can reduce the average daily gain and average daily feed intake of *Gaoyou* ducks aged from 1 to 4 weeks. However, there is no effect on the nutrient apparent digestibility of 6% pea gluten protein meal instead of soybean meal, and the ratio of feed to gain is lower than control group, it is helpful to improve the development index of intestinal organs and affect the metabolism of protein and fat in the serum. So, it is suggested that 6% pea protein powder as application amount in *Gaoyou* duck diets.

Key words: pea gluten meal; *Gaoyou* ducks; growth performance; nutrition apparent digestibility; digestive organ; serum biochemical indexes

---

Author, ZHOU Genlai, associate professor, E-mail: 178149071@qq.com (责任编辑　武海龙)